

二次覆工コンクリートの養生架台の検証 敦賀 BP 坂下トンネル

Verification of a new curing system for tunnel lining concrete
(Sakanoshita Tunnel on Tsuruga Bypass)

水口均 ^{※1}	藤本克郎 ^{※2}	小平哲也 ^{※3}
Hitosi Mizukuti	Katsurou Fujimoto	Tetuya Kodaira
	平間昭信 ^{※4}	岩城圭介 ^{※4}
	Akinobu Hirama	Kesuke Iwaki

【要旨】

コンクリート工事においては、コンクリートの強度、耐久性、水密性などの所要の性能を確保し、有害なひび割れなどの初期欠陥を生じないように、適切に養生が行われている。しかし、山岳トンネルにおいては、施工の特殊性から、脱型までの時間は15～20時間程度と早く、型枠存置による十分な養生が行われていない。これは、坑内温度が安定し、湿度も70%以上とセメントの水和反応を阻害する乾燥雰囲気下でないことや、十分な養生を行わない条件下であっても設計基準強度を満足している実績によるものである。

敦賀 BP 坂下トンネルにおいて、より品質高い二次覆工コンクリートを得ることを目的とし、適切な養生を実施するための養生架台を適用した。本報告は、養生架台による養生効果の検証を目的に行った実験結果について報告するものである。

【キーワード】 二次覆工コンクリート 養生 散水 細孔径分布 中性化

1. はじめに

山岳トンネルにおける二次覆工コンクリートは、一般的なコンクリートと異なり、打込みから15～20時間程度の早期に脱型され、その後の養生が行われていない。これは、トンネル貫通前において、一般的に坑内温度が安定し、坑内の湿度が70%以上とセメントの水和反応を阻害する乾燥雰囲気下ではないことや、養生を行わない条件下であっても設計基準強度を満足しているとの実績によるものである¹⁾。しかし、近年では、坑内作業環境の改善に対する要求から、坑内換気の改善が行われており、これにともない、覆工コンクリート表面の温度低下や、乾燥が進みやすい状況にある。よって、覆工コンクリートの品質確保に向けては、打込み後、硬化に必要な温度および湿度の条件を保つなど、養生に対する配慮を十分に行う必要がある。

敦賀 BP 坂下トンネル工事における覆工コンクリートでは、より高品質のコンクリートを得るための養生効果の改善を目的に養生架台（写真-1参照）を適用した。本報は、その養生効果の検証目的に行った実験結果について取りまとめたものである。

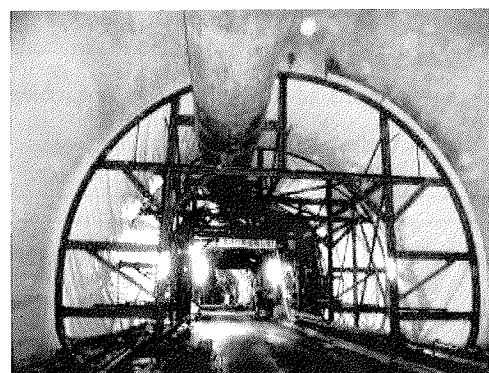


写真-1 養生架台全景

1. 関東土木支店 生枝トンネル作業所
2. 名古屋支店 道公天生作業所
3. 土木本部 トンネルグループ
4. 防災 R&D センター 技術研究所

2. 概要

2.1 工事概要

- (1) 工事名：敦賀 BP 坂下トンネル工事
- (2) 工事場所：福井県敦賀市坂下地先～鳩原地先
- (3) 発注者：国土交通省 近畿地方整備局
- (4) 工事内容

延 長：L=868m

掘削断面積：A=69.1～84.9 m²

(5) トンネル施工方法

掘削方式：機械掘削方式 坑口～200m

発破掘削方式 200m～

掘削工法：NATM

ずり運搬方式：コンテナ工法

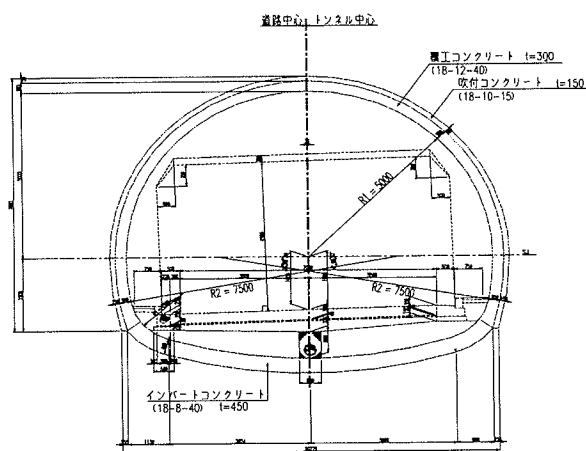


図-1 標準断面図

2.2 養生架台の概要

本工事で適用した養生架台の概要を、以下に示す。

- ① 通常の覆工コンクリートに使用するセントルに接続することにより、セントル移動時に牽引される一体型とした。
- ② 養生シートで覆い、両端部にスポンジを周方向に取付けることにより、気密性を高めた上で散水を行う設備とした。
- ③ 散水は、養生シートと覆工コンクリート表面の間に設置した塩ビ管3列（肩部2列，天端部1列）から霧状に行う設備とした。

養生架台の概略図を図-2に、養生の施工（散水）サイクルを図-3に示す。

なお、散水の頻度は、1回あたり3分程度を目安とし、養生架台セット直後、および作業開始時、終了時の1日2回、1スパン当り4回実施した。

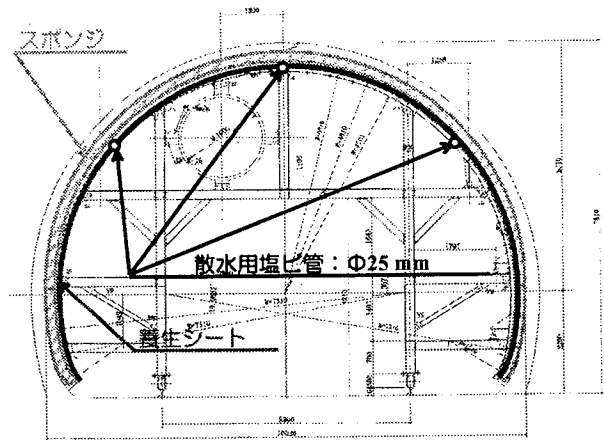


図-2 養生架台の概略図

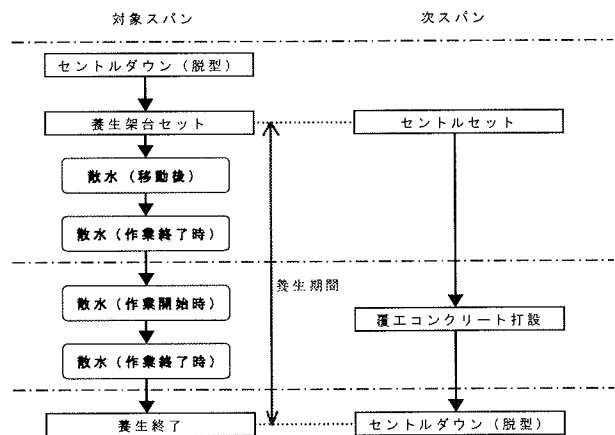


図-3 養生の施工（散水）サイクル

3. 養生架台の効果に関する検証実験

3.1 実験概要

養生架台の効果に関する検証実験は、図-3に示した標準パターン（養生2日）に加え、養生期間を2日間延長したケース（養生4日）、および、養生なしについて実施した。検証の対象スパン数は、養生2日が3スパン、養生なしが3スパン、養生4日については1スパンの合計7スパンとした。

(1) 使用材料

覆工コンクリートの配合を表-1に示す。

呼び強度：21N/mm²

骨材最大寸法：40mm

スランプ：15±2.5cm

表-1 コンクリート配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		水 W	セメント* C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材
59.0	43.5	165	280	785	1,049	3.00

* セメント：普通ポルトランドセメント

(2) 試験項目, 試験方法

今回実施した試験項目および試験方法を表-2に示す。

表-2 試験項目, 試験方法

試験項目	試験方法
坑内環境条件測定	温度・湿度測定
コンクリート強度試験	コア採取による圧縮強度試験 試験体寸法φ100×200mm, 材齢35日 シュミットハンマーによる強度推定 材齢35日
細孔径分布測定	水銀圧入法による, 材齢35日
中性促進試験	材齢35日にて試験体を採取した。試験条件は, 温度30℃, 湿度60%, CO ₂ 濃度5%で28日養生し, 中性化深さ測定
目視観察	ひび割れの発生などを観察

3.2 実験結果

(1) 環境条件測定結果

覆工コンクリート SL 表面付近の温度, 湿度の測定結果を図-4に示す。養生なしの場合の温度は, 脱枠後から徐々に低下し, 50時間で7℃程度まで低下した。一方, 養生2日の場合は, 温度30℃程度, 湿度80%程度を維持し, 散水時(図中の矢印時)直後には湿度は90%近くまで上昇することが確認された。このことから, 養生架台は保温, 保湿効果を有しており, 二次覆工コンクリートは適切な養生が行えたものと考えられる。

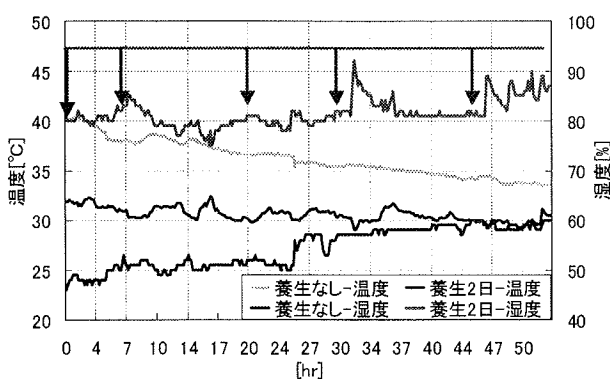


図-4 覆工コンクリート表面の温度・湿度経時変化

(2) コンクリート強度試験結果

コア(φ100×200mm)を採取し, 圧縮強度試験を実施した結果を表-3に示す。なお, 試験は材齢35日で実施した。

圧縮強度に関しては, 表-3に示すように, 養生の違いによる顕著な差異は認められない結果であった。

表-3 コアによる圧縮強度試験結果

養生方法	スパンNo	測定値 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)
養生なし	42BL	20.5	21.5
		21.0	
		23.2	
養生なし	42BL	24.2	23.5
		23.8	
		22.6	
養生3日	43BL	23.1	21.3
		20.6	
		20.3	
養生3日	45BL	20.7	21.8
		23.7	
		21.0	
	46BL	20.0	20.7
		22.1	
		19.9	

コアを採取した近傍にて, シュミットハンマー法による強度推定を行った。シュミットハンマーによる強度推定結果を図-5に示す。図に示すように, いずれの養生条件においても推定圧縮強度は側壁部に比べて, 天端部が高い値を示しているが, これは測定角度の補正の影響であると考えられる。養生の影響については, 側壁部では養生なしとほぼ同等の結果であったのに対して, 天端部では養生なしに比べて10%程度高い値を示した。これは, 今回適用した養生架台の特性として, 散水位置がアーチ部3箇所設置であり, 一定の環境条件が保てなかったことが考えられ, 水分の供給が十分に行われた天端部については養生の効果を得られたと推察される。ただし, これについては, 養生中の温度あるいは湿度の分布について調査し, その結果を今後の養生方法に反映する必要がある。

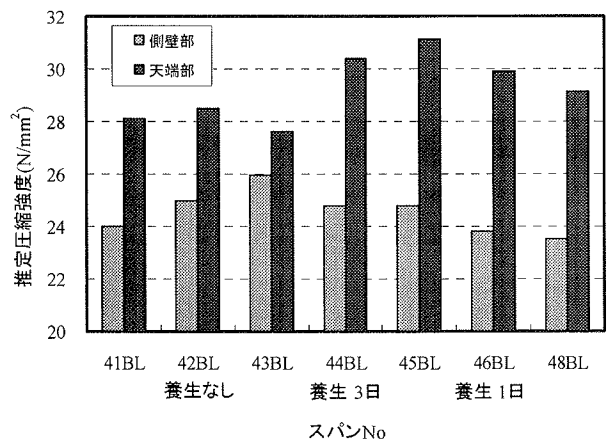


図-5 シュミットハンマー法による強度推定結果

(3) 細孔径分布測定結果

養生の実施により、水和反応が助長すると考えれば、硬化体の細孔径分布に違いが認められると考え、コンクリート強度の測定のためにコア採取したコンクリートの表面2cmについて、細孔径分布を測定した。

細孔径分布試験の結果を図-6に示す。養生なしに対して養生を行った場合の空隙率が小さい値を示した。このことから、養生架台による養生の実施によりセメントの水和が進み、水和生成物が微細空隙を充填したためと考えられる。

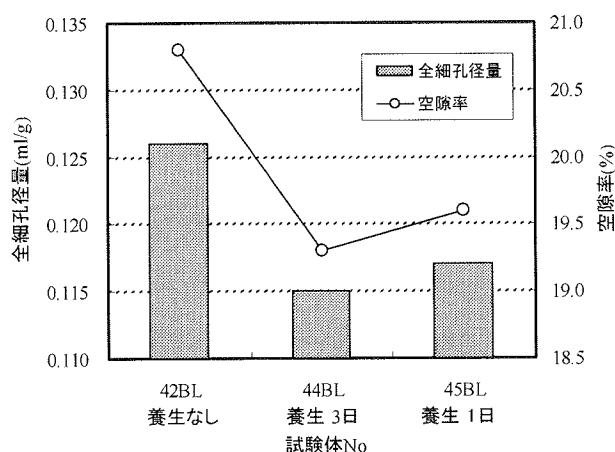


図-6 細孔径分布測定結果

(4) 中性化促進試験結果

中性化促進試験による中性化深さは、養生なしで12.3mm、養生ありで9.4mmであった。この結果は、空隙率の結果と合致するものであり、養生による硬化体の緻密化が中性化抵抗性にも有効であったと考えられる。

(5) 目視観察結果

目視観察では、定期的にはひび割れの発生の有無などについての観察を行った。トンネル貫通後の2005年10月末(打設後約2ヶ月経過後)の時点では、ひび割れを確認できなかった。その後の2006年3月(竣工時)における調査では、全83スパン中5スパンの天端部に乾燥収縮によると考えられるひび割れが発生した。しかし、ひび割れが発生したスパンは、養生なしのスパンに限定されており、養生架台の適用によるひび割れ抑制効果を裏付ける結果であった。

4. おわりに

覆工の養生架台は、これから改善する余地はたくさんあると考えますが、コンクリート品質向上への取り組みとして発注者に対しては良い評価を受け、また、近畿地方整備局主催の公共構造物品質コンテスト「コンクリート構造物部門」におきまして優秀賞を頂くことができました。最後に、国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所、他関係各位に多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 馬場弘二・伊藤哲男・城間博通・宮野一也・中島浩・谷口裕史：施工中のトンネル坑内環境と覆工コンクリートの湿度変化に関する研究，土木学会論文集 742/6-60号，pp.27~35，2003.9

Summary Wet curing of concrete structures is essential for improving the qualities of concrete, such as strength, durability, permeability and so forth, and controlling initial defects. In lining concrete of mountain tunnels, however, the curing period in formwork is limited to 15-20 hours due to the specialized tunneling method, and far from sufficient when compared with normal concrete structures. The short curing period of lining concrete has resulted from the stable temperatures and humidity in tunneling environments and previous compression test results by quality control of lining concrete fulfilling the requirements even under insufficient curing conditions. In the construction of Sakanoshita Tunnel, a new curing system that enables adequate wet curing was actually applied to improve the quality of lining concrete. This paper describes the results of verification tests using the curing system.

【Keywords】 tunnel lining concrete, curing, sprinkling, pore size distribution, carbonation